



## WG3

断層変位を受ける地中管路の  
対策方法および維持管理方法



## WG3のメンバー

「断層変位を受ける地中管路の対策方法および維持管理方法」

◎主査 鍬田泰子(神戸大学)

○幹事 大嶽公康(NJS)

○幹事 金子正吾(クボタ)

○幹事 中園隼人(JFEエンジニアリング)

大室秀樹(クボタケミックス)

清野純史(京都大学)

鈴木崇伸(東洋大学)

副島紀代(大林組)

矢澤修一(日鉄住金パイプライン&エンジニアリング)

(50音順, 敬称略)



# 本日の話題内容

## WG3:断層変位を受ける地中管路の対策方法および維持管理方法

- 1.国内の断層と被害事例
- 2.国内外の水道管の断層対策
- 3.断層変位と水道の危機耐性の考え方
- 4.断層対策の取り組み方
  - 4.1 大口径管の対策方法
  - 4.2 中小口径の対策方法



# 海外の断層による管路被害事例

(写真はいずれも  
高田至郎先生提供)



1999, Turkey, Thames Water Steel Pipeline (SP)



1999, Chi-Chi,  
water pipe(PE)



1999, Chi-Chi,  
water pipe(PE)



1999, Chi-Chi,  
Shigang Dam (SP)

## 近年の国内での地表地震断層の事例

発生年月日	地震名	規模	主な地表地震断層	管路被害事例
1995年1月17日	兵庫県南部地震	M <sub>j</sub> 7.3	野島断層	
2004年10月23日	新潟県中越地震	M <sub>j</sub> 6.8	小平尾断層	
2008年6月14日	岩手・宮城内陸地震	M <sub>j</sub> 6.1	北上低地西縁断層帯	○
2011年4月11日	福島県浜通りの地震 (東日本大震災余震)	M <sub>j</sub> 7.0	湯ノ岳断層 井戸沢断層	
2014年11月22日	長野県北部地震	M <sub>j</sub> 6.7	神城断層	○
2016年4月16日	熊本地震	M <sub>j</sub> 7.3	布田川断層	○

事例の○印は断層と管路が交差していた事例

# 地表地震断層による管路被害の事例

## 断層と横断して被害があった事例

神城断層 下水ヒューム管  
熊本地震 DIPK100, K150  
熊本地震 DIP管体曲げ

## 断層と横断したが被害にならなかった事例

岩手宮城 DIPK100  
神城断層 PE

地表地震断層エリアにおける断層横断位置の管路被害

# 岩手・宮城内陸地震

## 横断したが被害のなかった事例

2008年6月14日午前8時43分 M7.2  
一関市巖美町柵木立  
巖美・萩荘地区簡易水道の板川水系

45cmの鉛直変位  
田んぼの奥側が隆起，側溝のコンクリートの亀裂

DIP(K)  $\Phi$ 100  
継手間隔が良かったためか被害なし。  
路面のみ補修



# 長野県北部地震

2014年11月22日 M6.7

神城断層 逆断層

垂直変位: 約80cm

水平変位: 約30cm

下水道管 $\Phi$ 450の上に水道管PE $\Phi$ 75  
が布設

地表変位とほぼ同じ変位を確認。

ヒューム管は管体破損したが, PE管  
は変形のみで供用継続



横断したが被害のなかった事例



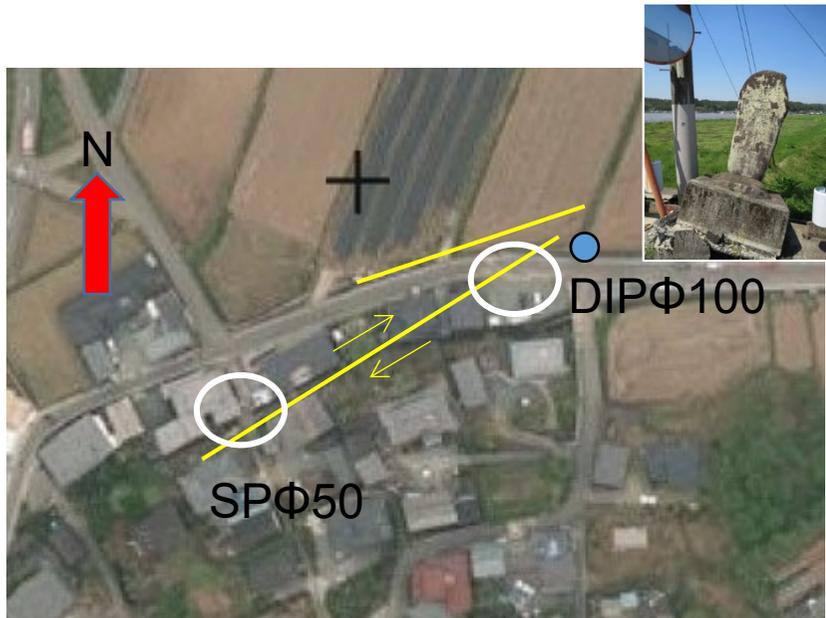
下水道ヒューム管 $\Phi$ 450・管周方向に破損



# 熊本地震

横断により被害のあった事例

- 2016年4月16日 布田川断層
- 益城町下陣地区
- DIP(K)Φ100 管体曲げ  
水平変位50cm
- 暗渠内SPΦ50  
水平変位120cm



変位: 水平 50cm (Shirahama, et al, 2016)



# 熊本地震

## 横断により被害のあった事例

### ■益城町平田地区

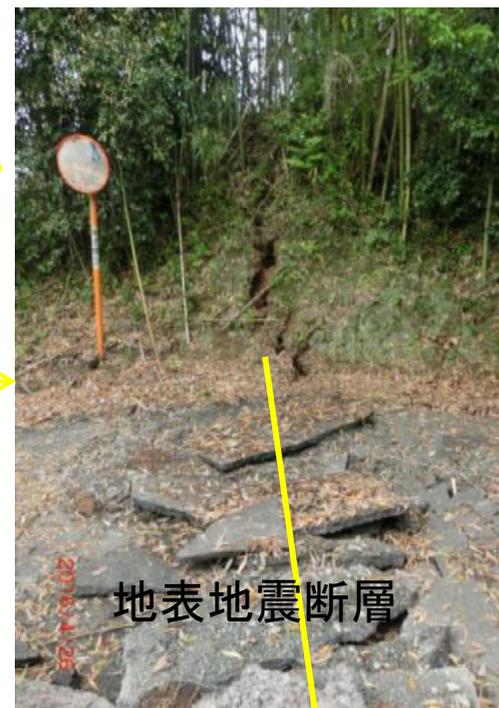
DIP(K)Φ150

DIP(K)Φ200

継手抜け



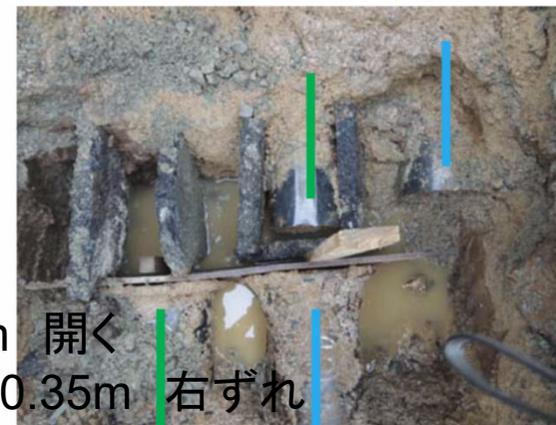
管路被害の15mほど南側に地表地震断層



地表地震断層



管軸方向 0.2m 開く  
管軸直交方向 0.35m 右ずれ



K形φ150 K形φ200  
(引用:厚生労働省報告書)

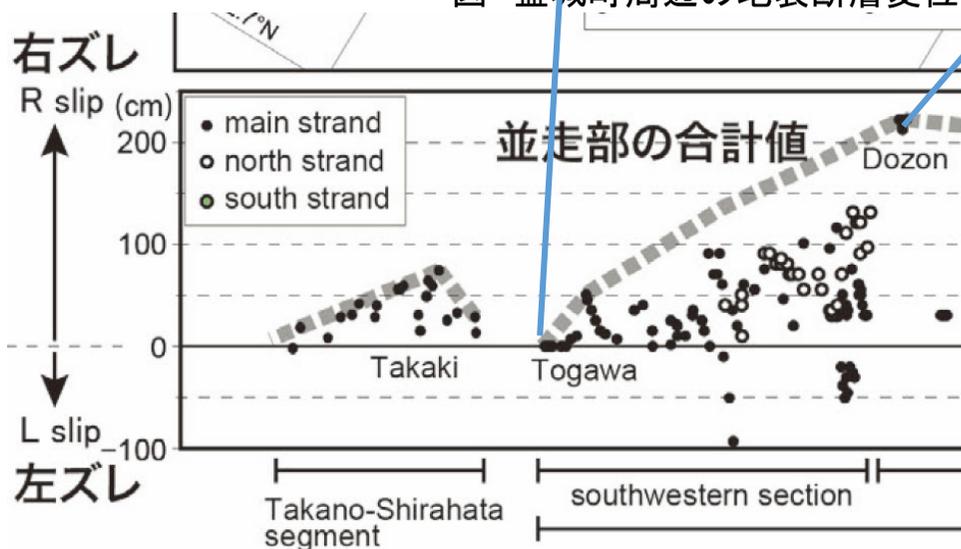
変位:水平 46cm, 上下 報告無し (Shirahama, et al, 2016)

# 益城町の断層エリアにおける管路被害



図 益城町周辺の地表断層変位

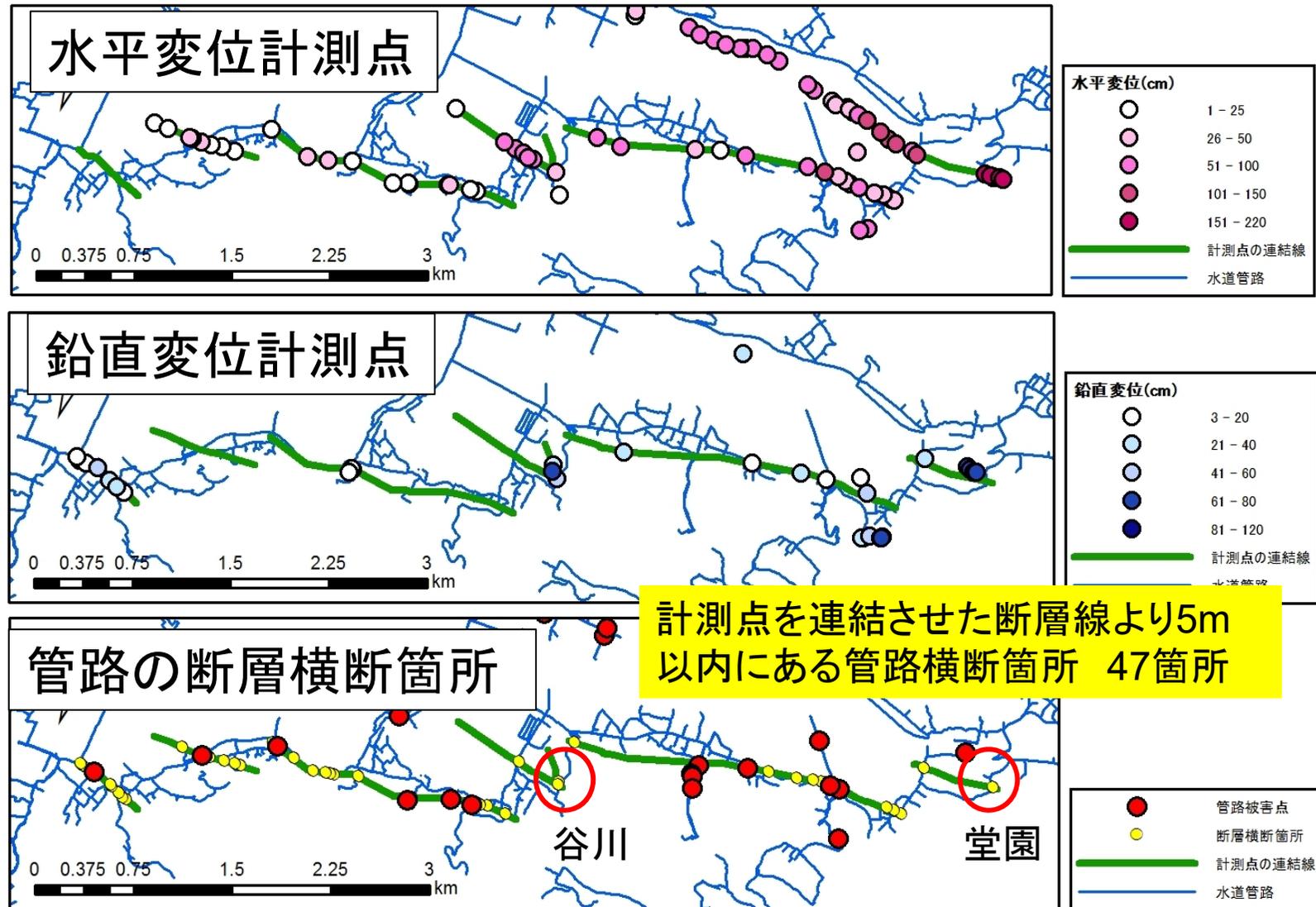
(After, Shirahama et al, Earth, Planets and Space, 68:191, 2016)



堂園から砥川にかけて最大2mの右横ずれの変位が収束している。

(引用:土木学会熊本地震報告書, 2017)

# Shirahamaらの断層変位と横断箇所での管路被害



このうち、被害があった箇所 11箇所 =23%(11件/47件)

## エリアで見た時の管路被害

- 断層から5m内にある管路被害件数 11件
- 断層を横断する管路の被害率は 23% (47箇所中11箇所で被害)
- 数10cmを超える断層変位があっても、均一に連続して地表に現れず、被害を受けなかった事例も多い



# 地表地震断層による管路被害の事例まとめ

## 断層と横断して被害があった事例

小口径が多く、継手抜け、管体曲げによる被害を受ける

## 断層と横断したが被害にならなかった事例

- 耐震管による効果
- 継手の最適配置
- 連続的に断層変位が地表に現れなかった

## 地表地震断層エリアにおける断層横断位置の管路被害

- 断層を横断する管路の被害発生率は23%(熊本益城)
- 地表に現れる断層変位は連続的ではない

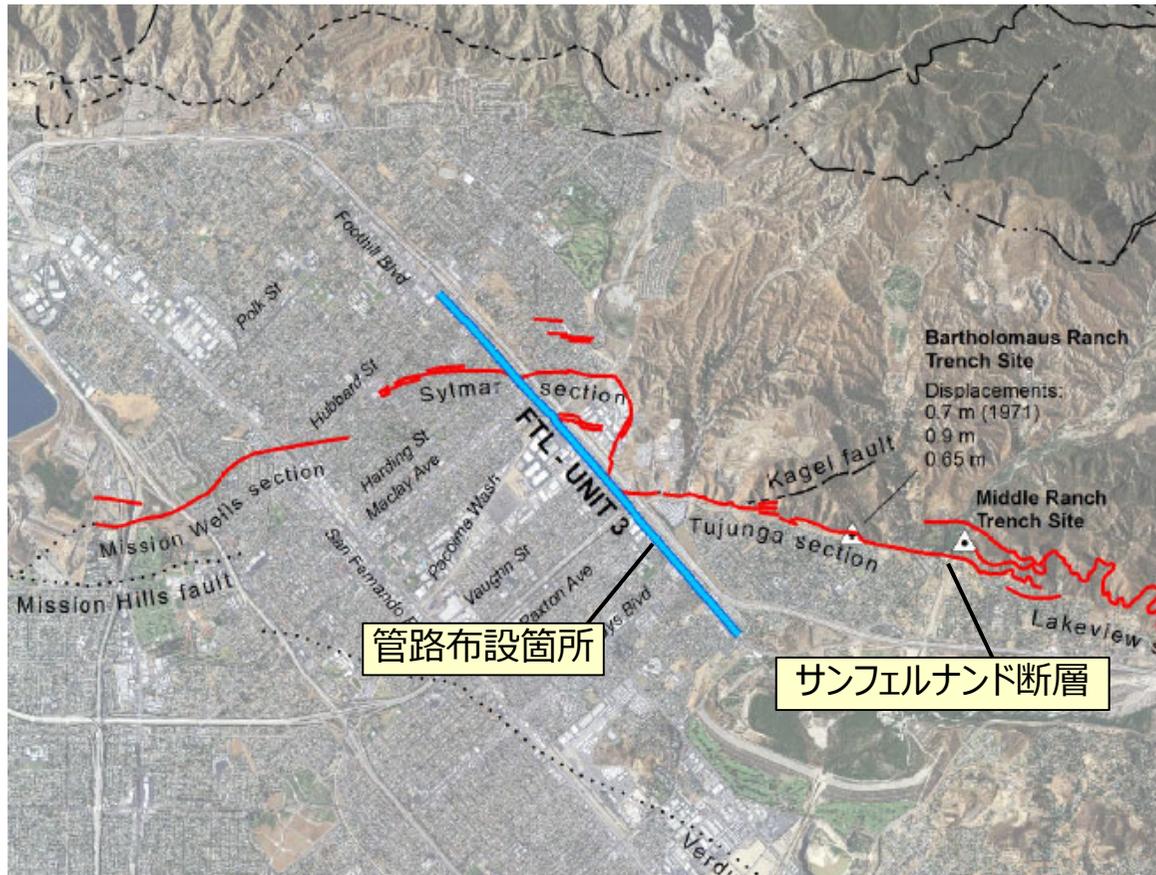
# パイプラインの対策事例一覧

No.	対策方法	施工年	場所	口径 (mm)	断層名	断層変位(m)	
						(水平)	(鉛直)
1	渦動支沓	1977	アラスカ	不明	デナリ断層	6.0	1.5
2	伸縮可とう管	1996	横須賀	1200	武山断層	1.5	-
3	送水用ホース	不明	サンフランシスコ	不明	不明	不明	不明
4	バイパストネル, 通水管(鋼管)			1800	ハイワード断層	2.3	0.2
5	ダクタイル鋳鉄管	2008	大阪府	1350	上町断層帯	2.6	2.0
6		2015	福岡県	1200	警固断層帯	2.1	0.5
7	ボールジョイント	不明	サンフランシスコ	1800	ハイワード断層	2.0	-
8	断層用鋼管	2015	神戸	2400	会下山断層	1.6	0.3
9		2018	東京都	2000	立川断層	3.0	1.5
10	ダクタイル鋳鉄管	2019	ロサンゼルス	1350	サンフェルナンド断層	1.3	2.7
11		2018	金沢	~900	森本富樫断層帯	2.2	2.0

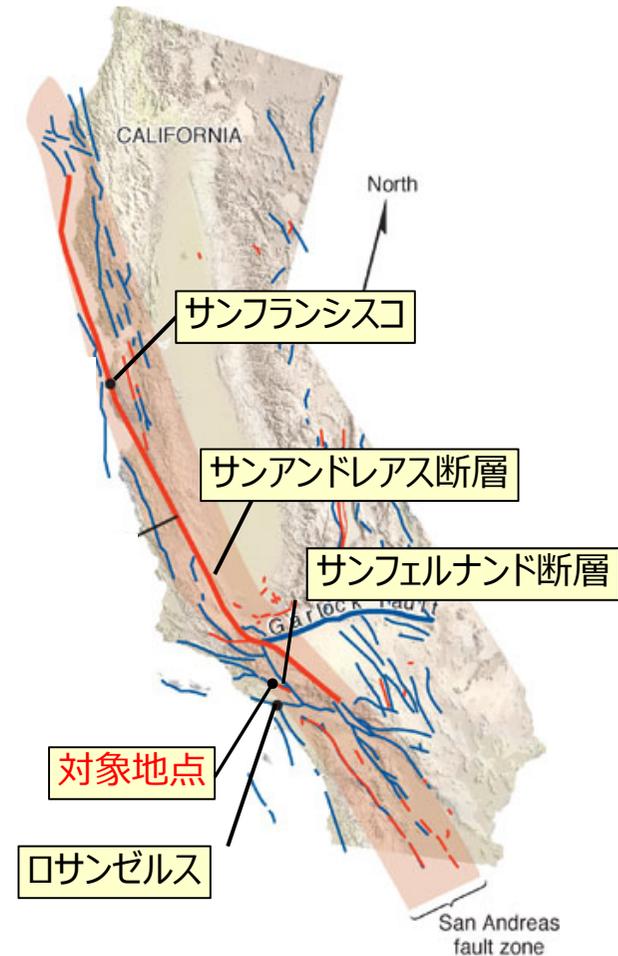
①近年対策件数増加傾向, ②大口径, ③断層変位1.5m以上

# 対策事例(ダクティル鋳鉄管)

(サンフェルナンド断層横断管路 呼び径1350)



カリフォルニア州の主な断層

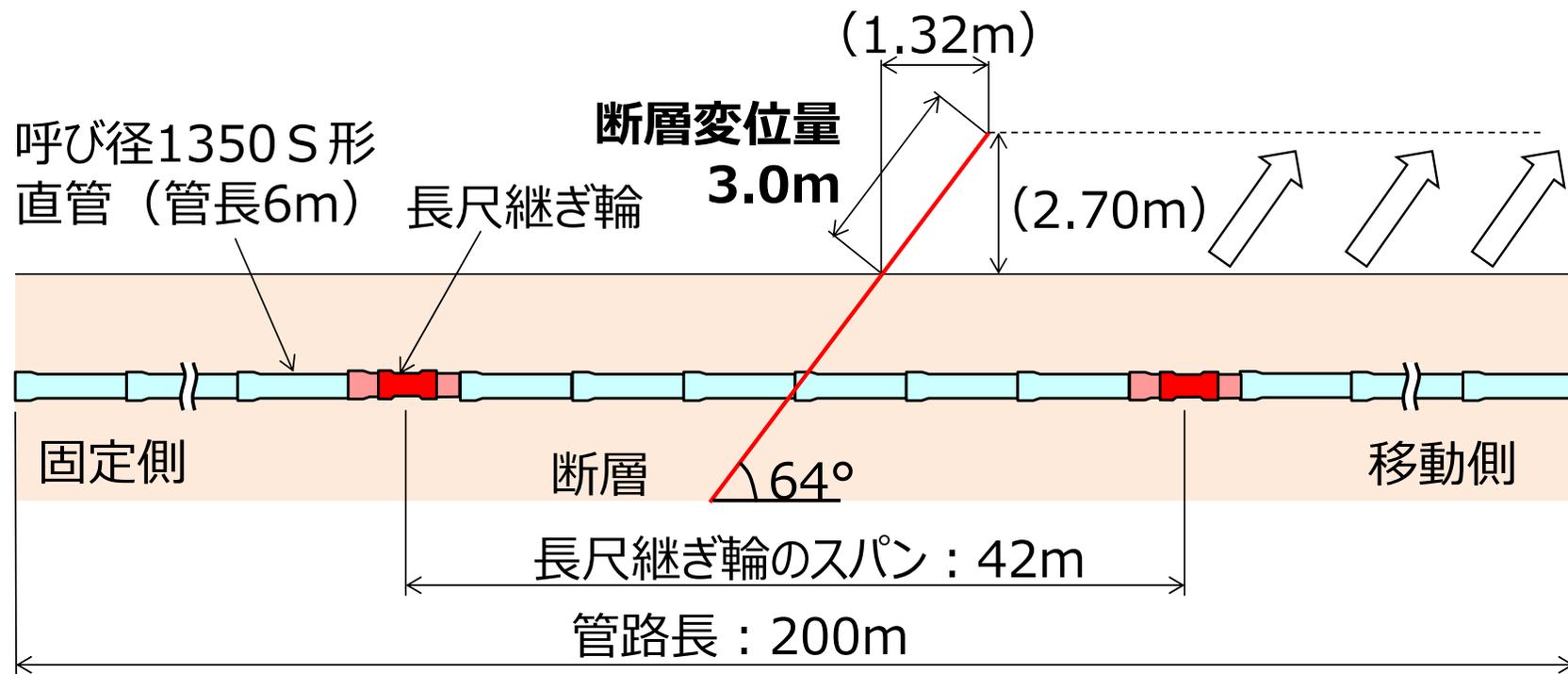


From California Division of Mines and Geology

## 対策事例(ダクティル鑄鉄管)

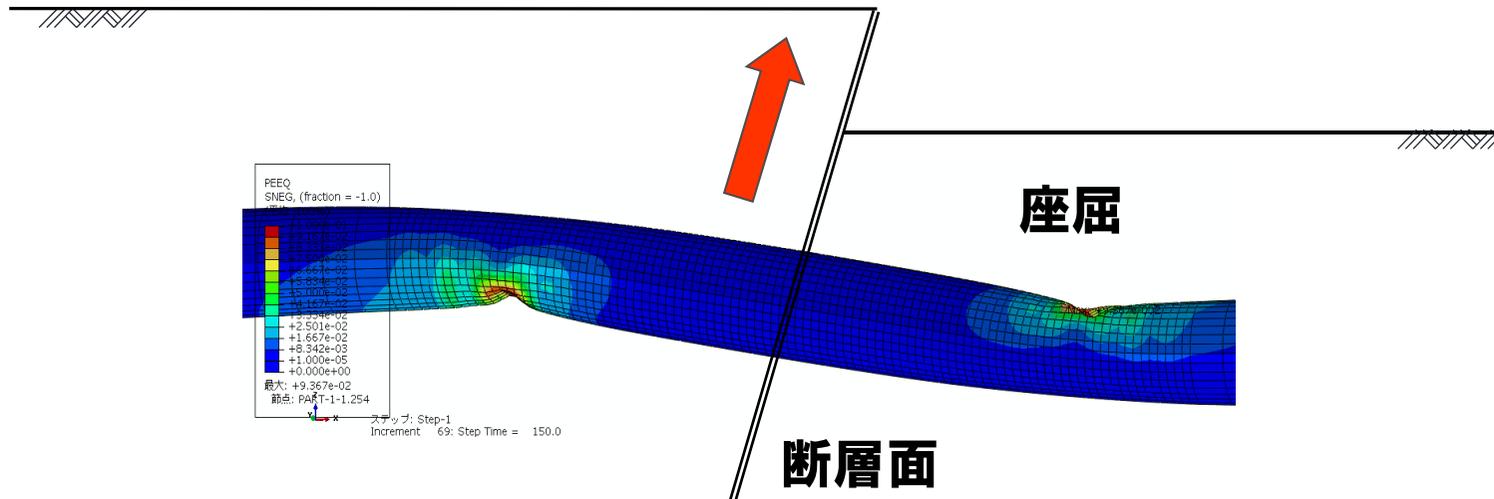
(サンフェルナンド断層横断管路 呼び径1350)

通常の10倍の伸び量を有する長尺継ぎ輪を42m間隔で設置することにより断層変位に追従することを確認した

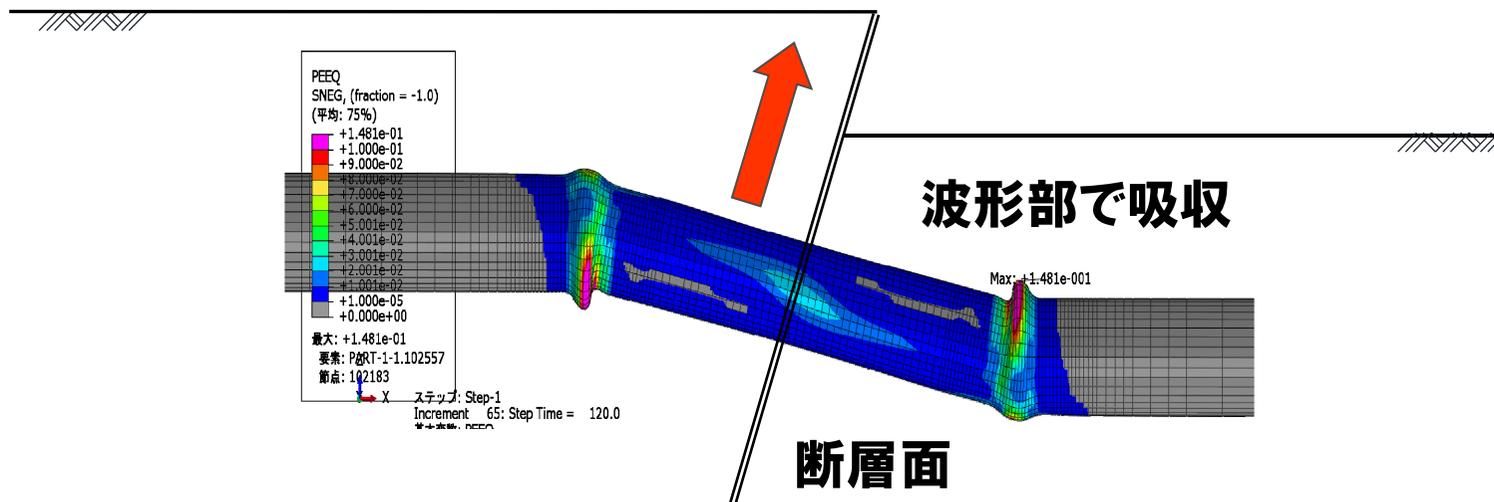


# 対策事例(断層用鋼管)

## 対策なし



## 断層用鋼管



# 対策事例(断層用鋼管)

		神戸市水道局	東京都水道局
写真			
鋼管	口径, 板厚	2400A, 22mm	2000A, 18mm
	材質	STW 400(JIS G 3443)	
断層	名称	会下山断層	立川断層
	種類, 交差角	右横ずれ断層, 74°	逆断層, 60°
	断層変位量	1.44m	3.0m
	断層影響範囲	16m	180m
断層変位	曲げ変形	軸圧縮変形(撓曲への対応) 曲げ変形	

# 断層変位と水道の危機耐性の考え方

断層：発生確率は非常に低いが，起きれば甚大な被害になる。

## 水道の危機耐性とは

設計で想定した以上の事象が発生した場合に，危機的な事態を防ぎ，早期に機能回復するための性能を持つ必要がある。

耐震設計における断層変位：現行指針（2009年版）では想定していない。想定していても，

- 想定以上の変位が発生する。
- 主断層を想定していても，それ以外の副断層が発生する。場合がある。

# 断層変位と水道の危機耐性の考え方

構造物・システムのフラジリティカーブの延長線ではなく、損傷フェーズが転換された損傷時において、**早急な回復の手段も持つことが重要**である。

## 危機耐性において必要なこと

- リスクの認識：定量化と説明
  - 回復の見通し：シナリオづくり
  - リスクの共有：関係者の同意
- 
- 断層対策の実施が前提ではなく、実施できなくとも早期回復のための方策を実施することが重要
  - 水道の場合、利用者が反対することはないが、使用料金に影響する場合は反対者が出てくる。リスクの共有は合意形成が難しい場合がある

## 2009年水道施設耐震工法指針・解説, p18

- 水道施設耐震工法指針・解説では、応急復旧日数の想定の参考値として、兵庫県南部地震の神戸市の事例を示している。

	小口径 ~Φ250	中口径 Φ300~Φ400	大口徑 Φ500~
復旧工事日数	0.5日	1.0日	3.0日

- 復旧工事延べ日数の算定においては仕切弁操作に要する日数として1日を加算して4日/か所とする。



## 大口径管路の復旧事例(東日本大震災)

- 仙南・仙塩広域水道：白石IC横，区送水管SPΦ2400が河川伏せ越し防護工の両端で可とう継手の抜け
- 復旧工事には7日間を要し，9日後に通水となった。
- 幸いにも，近くの浄水場の備蓄庫にΦ2400の管をストックしていたのが早期復旧につながった。

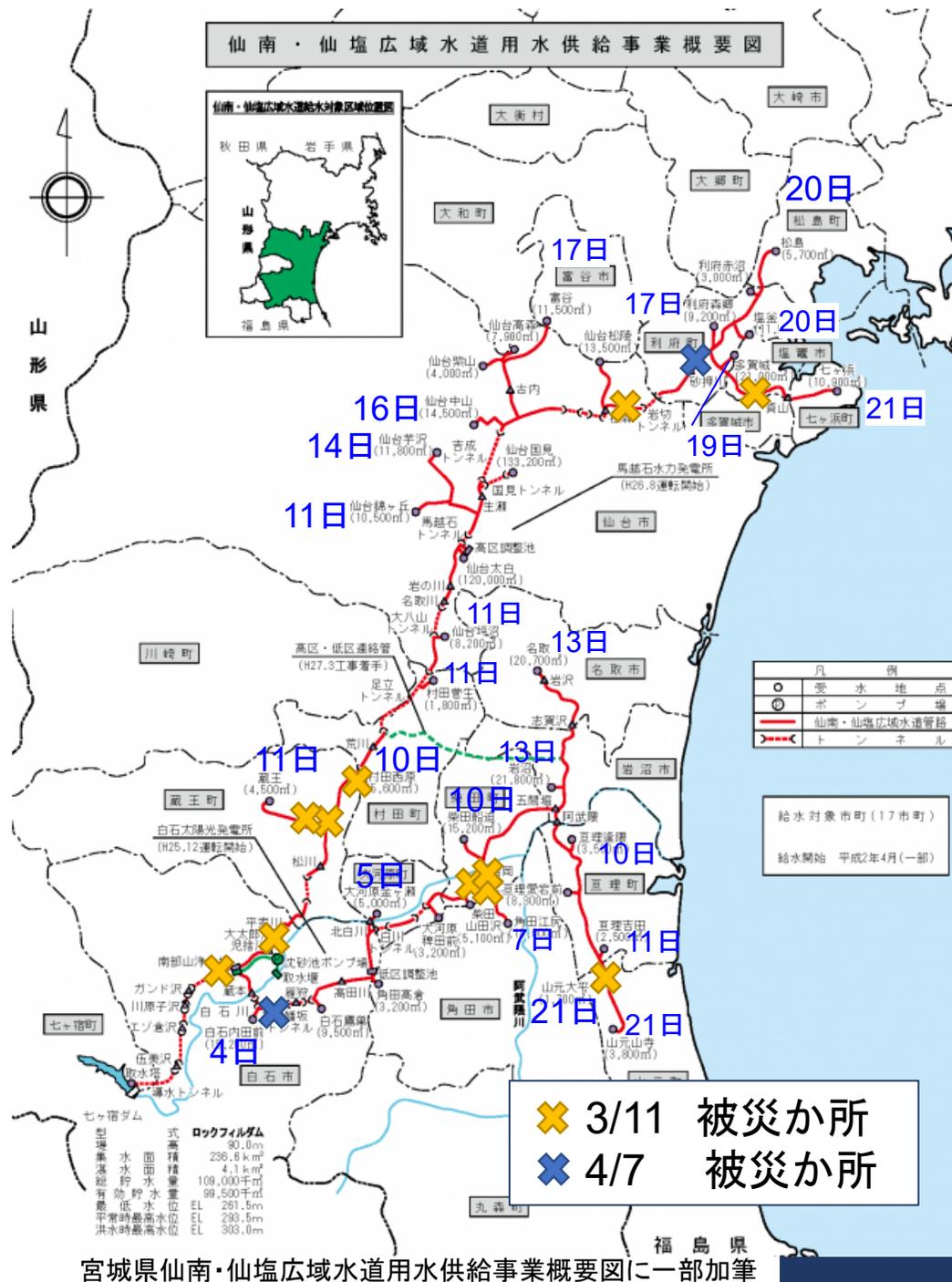


# 通水までの日数

## 仙南・仙塩広域水道

■  $\Phi 2400\text{mm}$ 被害点復旧後上流側の受水点から通水を開始したが、末端の七ヶ浜町の通水までは被災から**21日間**を要した。

■ 亘理町と山元町の間送水管被害は、 $\Phi 400\text{mm}$ の送水管の1カ所のみであったが、山元町の復旧は亘理町の復旧から**10日後**に通水している。



# 大口径管路被災による復旧日数

## ■2016年熊本地震

送水管・SPΦ1350 熊本市

河川伏せ越し部の背後地盤

人孔管フランジ部からの漏水

■修理完了日:5月5日(20日)

■通水開始日:5月10日(25日)

■管路までの深さが約10mと深く、掘削等に時間を要した。

■管路の口径が大きいため通水準備に5日かかった。



引用:厚労省報告書



2016年熊本地震 SPΦ1350熊本市

2016/5/7撮影時

# 大口径管路被災による復旧日数

- 2018年大阪府北部の地震  
送水管・DIPΦ900
- 地震から復旧まで21時間  
埋設管深さは1.2m  
復旧管は近隣の浄水場に備蓄あり



## 口径・重要度による危機耐性の考え方

- 兵庫県南部地震時の神戸市の大口徑管(Φ500以上)の復旧日は3日と想定されているが、近年の地震災害では大口徑管の復旧・通水までの復旧日数はそれ以上に長い場合がある。

口径	50	250	400	800	2000
ダクティル鑄鉄管DIP					
鋼管SP					
ポリエチレン管PE					

中小口径(Φ400以下)

復旧日数は短い

対象延長は長い

大口徑(Φ500以上)

復旧日数は長い

基幹管路が多い

重要度・復旧性から中小口径と大口徑に分けて、対策や取り組み方を整理する

# 大口径管の断層対策の取り組み方

## 【管路新設の場合】

- 断層横断箇所に対して**適切な設計・対策を実施**すべきである。  
→WG1・WG2の方法で想定される断層変位に対して、WG2の設計方法(基本設計+詳細設計)で施工する
- 管路以外で耐える方法**(地盤改良やフェイルセーフ構造)も検討する。
- これらの対策が実施できなければ、断水時に**早期に復旧できる方策**を検討する。
  - 復旧用管材の備蓄
  - 通水期間を短縮するために適宜バルブを設置
  - バイパス管の設置
  - 多系統からの受水・連絡管の設置
- 上記の対策とともに、断層対策と断水期間については、**住民とリスク認識・共有するソフト的な取組み**が必要である。

# 大口径管の断層対策の取り組み方

## 【既設管の場合】

- 最新の知見によって断層変位リスクの把握
- 早期に復旧できる方策を検討する.
  - 復旧用管材の備蓄
  - 通水期間を短縮するために適宜バルブを設置
  - バイパス管の設置
  - 多系統からの受水

# 断層用に開発された管路

## ■断層用鋼管

断層変位が作用する箇所に、予め変形し易い山形の部位(座屈波形部)を設置し、断層変位に対応し、断層変位が生じた場合においても、通水機能を維持する。

実験、解析での性能確認。断層変位経験はなし。

- 2012年度 神戸市水道局/大容量送水管 2,400A
- 2018年度 東京都水道局/南北幹線 2,000A



断層用鋼管(2000A)



大変位吸収鋼管採用実績(九頭竜川下流  
農水事業(2011))

# 断層用に開発された管路

## ■ダクティル鑄鉄管

各々の継手が伸縮・屈曲・離脱防止性を有し、鎖構造管路を形成できることから、その特性により断層変位に耐える。断層変位1.5m以上の場合は長尺継ぎ輪等を用いる。

■大阪府 Φ1350

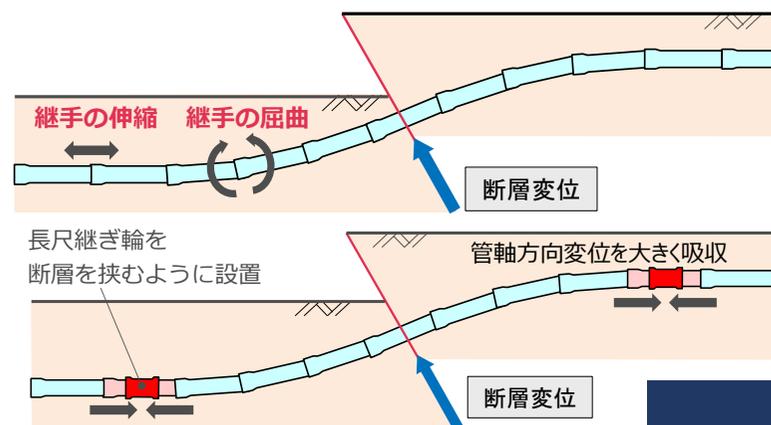
■福岡県 Φ1200

■ロサンゼルス市 Φ1350, Φ1200, Φ300

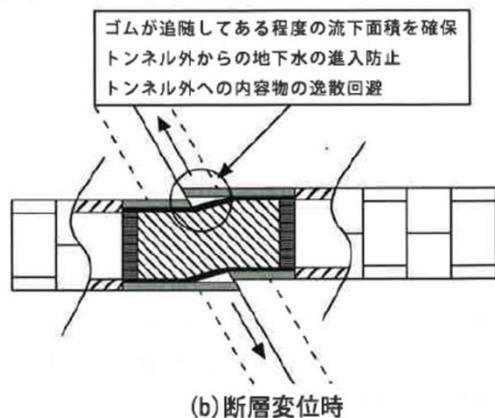
■ Hayward市 Φ600

■サンタクララバレー水道局 Φ1800, Φ1650, Φ1500

実験での性能確認。断層変位の経験はないが、液状化、地崩れ及び津波被災地域で大きな地盤変位を受けた管路で性能確認



# 地盤改良工法の一例



シールドトンネルにおける断層変位に対する補強繊維入りゴムを用いたフェールセーフ構造の提案(村井ら(2000))

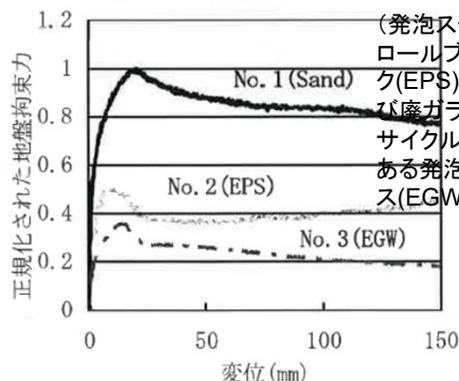


図3. 地盤拘束力と変位量の関係

軽量盛土工法を用いた埋設管地盤拘束力の低減効果に関する実験的研究(坂上ら(2003))

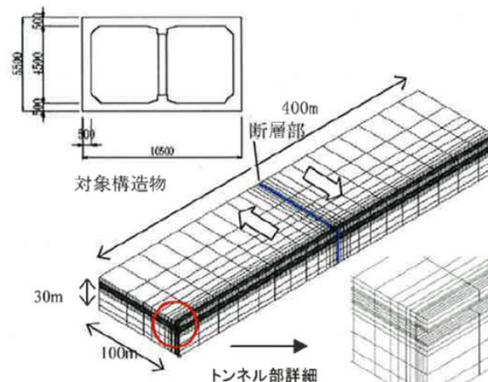
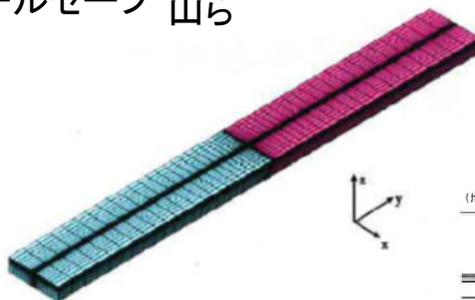
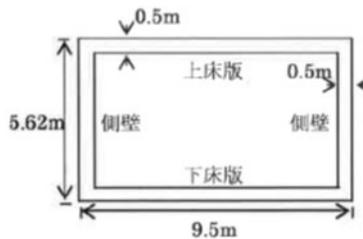


図-1 解析モデル

断層変位に対する地下構造物の免震設計の一考察(西山ら)



(a) モデル全体図



(b) 地中構造物断面図

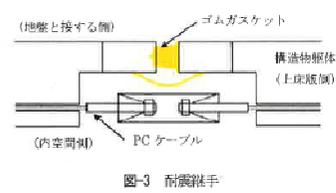
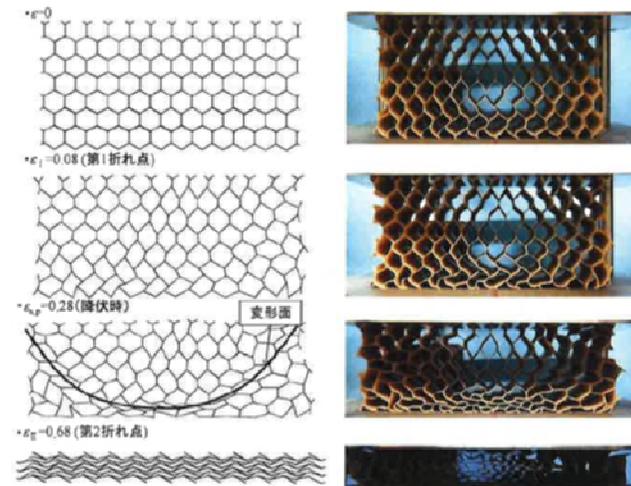


図-3 耐震継手

地中構造物を対象とした断層変位に対する耐震継手の有効性の検討(大塚ら(2011))



トンネルの損傷緩和工法として断層近傍にハニカム構造材料を用いた吸収層を設置して断層変位を吸収する方法の提案(小川ら(2012))

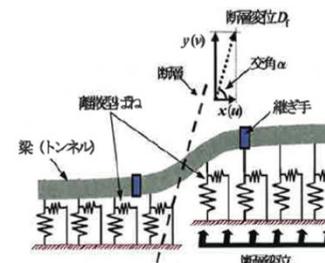


図-8 数値解析に用いたモデル

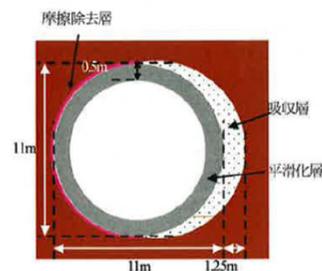


図-9 トンネルの断面

多殻モルタルによる断層変位緩衝効果の検討(玉置ら(2008))

## 中小口径管の断層対策の取り組み方

- 中小口径管については、**数日以内での復旧が可能**である。
- ただし、送配水系における**基幹管路**であり、対策を講じられる余裕がある場合は大口径管と同じ対応をすべきである。
- **基本的には、特別な断層対策を必須としない。**
  - **リスクの認識**: 簡易式等により、通常配管でどの程度の断層変位を許容するかを理解しておく。
  - **回復の手立て**: 耐震管・伸縮継手を適宜入れる。断層周辺に適宜バルブを設置して、地域的な止水、通水を効率化させる。
  - **リスクの共有**: 住民への断水期間の周知と応急給水の対応

# 通常配管での断層変位許容量

## ■ダクタイル鋳鉄管

断層変位量	配管設計方法
1.5m未満	断層対策不要(耐震継手で管路構築)
1.5m以上	継ぎ輪を使用

口径1000mm以下の管路対象

一般的な埋設条件で様々な断層交差角で解析的に検討されたもの

## ■ポリエチレン管

一体構造管の断層許容変位量を簡易式により算出.

		許容ひずみ6%での断層 変位吸収量 $\Delta U$	変形範囲L
呼び径	50	0.11	0.42
	75	0.18	0.64
	100	0.29	0.96
	150	0.47	1.46
	200	0.74	2.15

備考： $\Delta U$ は片側の断層変位量(m)、変形範囲Lも片側の範囲を示す。

# 地盤変位を吸収する管と継手

WG3独自アンケート調査による

管種/伸縮可撓管	変位吸収する機構	許容値	機構の検証	局所変形の経験
PE	管体	管体ひずみ $\leq$ 許容ひずみ6%	実験	神城断層でV80cm, H30cmで○
SP	管体	管壁の内面側が接触する曲げ角度	実験	
DIP(耐震継手)	継手	耐震継手 $\leq$ 許容値 and 管体応力 $\leq$ 耐力	実験	液状化や津波地域で○
ボール状	継手	偏心量		
円筒状	継手	伸縮量・偏心量		東日本で被害あり
ベローズ	継手	伸縮量・偏心量		



伸縮可とう管:

管路に作用する伸縮・屈曲・偏心ねじれ等の諸応力を吸収する継手管路で、不同沈下や強制変位の吸収を目的に設置する。

種類は円筒状摺動型・ボール状摺動型・ベローズ型

## まとめ

- 水道の**危機耐性**を踏まえて断層変位の対策方法と取り組み方を整理した.
- 管路の**重要度・復旧性**を踏まえて口径別に断層対策を実施する考え方を示した.
- 大口径管: 近年の災害事例から相当な復旧時間を要していることを踏まえ、**適切に断層対策を講じるとともに、早期復旧できる方策も検討**する必要がある.
- 中小口径: 数日での復旧が可能であり、通常配管だけでなく耐震継手や伸縮継手などで変位に許容できるため、特別な対策を必須としない.
- ただし、いずれの管においても、断層変位による断水リスクはあるため、**事業者は利用者とリスク共有する取り組み**が必要である.